工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

大跨度门式刚架物流厂房钢结构设计与优化

王晋锴　袁凯　张冲
中国中元国际工程有限公司

DOI：10.32629/ems.v8i10.22548

［摘　要］大跨度门式刚架物流厂房由于空间利用率高、施工周期短，已经成为现代仓储设施的主要结构形式。设计上要兼顾力学合理性和经济适用性，通过优化构件截面形式、节点连接构造等手段可以有效地减少钢材用量，提高结构整体性能。本文对大跨度门式刚架的荷载取值、内力分析、构件设计以及节点构造等方面进行论述，根据物流厂房的工艺使用要求，提出相应的设计优化思路，给同类工程提供技术参考。

［关键词］大跨度门式刚架；物流厂房；钢结构设计；节点构造；用钢量优化

前言

近年来，随着现代物流业的迅速发展，对仓储空间的要求也越来越高，大跨度门式刚架钢结构由于其内部无柱空间开阔、屋面自重轻、工业化装配程度高等优点，在物流厂房建设中得到了广泛的应用。随着厂房跨度和柱距的不断加大，结构设计所遇到的力学和经济性平衡问题也日益明显，传统的设计方法容易造成构件截面冗余、节点传力不合理等现象，从而增加工程成本，也会影响结构长期的安全性能[1]。目前对于大跨度物流厂房的钢结构设计研究大多集中在单个构件上，对于荷载取值与工艺需求的匹配性、整体内力分布规律以及节点构造协同优化等方面的研究还存在不足之处[2]。因此，结合物流厂房的仓储荷载、起重运输设备使用等特定工艺需求，进行力学性能分析及设计优化的研究，对于提高大跨度门式刚架结构的安全性和经济适用性具有重要的现实意义。本文从设计核心环节出发，梳理关键技术要点，形成具有合理性和可操作性的优化思路。

1.大跨度门式刚架物流厂房钢结构的核心设计参数取值与荷载工况分析

1.1 主体结构几何参数的合理匹配

大跨度物流厂房的结构几何参数要和仓储作业的工艺要求相匹配，根据现有的工程经验，这类厂房的经济适用跨度一般在 24 到 36m 之间，柱距大多采用 6 到 9m 的标准模数，檐口高度按照货物堆存层数以及叉车作业范围来确定，一般保持在 8 到 12m 之间。屋面排水坡度既要满足压型钢板的防水要求又要考虑刚架受力的特点，一般取 1/10 至 1/15 的平缓坡度，既可以防止大坡度给屋面围护系统施工带来的困难，又可以降低刚架梁弯折处的应力集中风险[3]。不同于普通的工业厂房，物流厂房内部需要有连续的货物分拣、运输通道，所以刚架柱的位置不能设在装卸作业区，这就需要设计前期同仓储物流工艺团队进行充分的沟通协调，保证结构几何参数不会同作业动线发生冲突，从根本上减少后期结构改造的需要。

1.2 荷载取值的精细化考量

荷载取值是结构设计的基础，直接影响到构件截面的选择以及整个工程的经济性，要分别对恒荷载、活荷载和特殊工艺荷载进行取值。恒荷载方面，屋面系统一般采用轻质夹芯保温板，加上檩条、支撑等附属构件自重，标准取值范围为 0.3~0.5kN/m^2，在设计时应考虑屋面管线、消防设施等附加荷载，防止后期加装造成屋面超载。活荷载要考虑屋面检修及积灰的影响，一般取 0.5kN/m^2，但是多粉尘地区或者有保温层的屋面需要适当提高取值来抵消积灰荷载叠加产生的影响。物流厂房特有的工艺荷载需要特别注意，若屋面设有悬挂式输送机、消防管道等设备，就要把实际设备重量传给刚架梁[4]；地面区域的货架堆载会对基础设计产生间接影响，应该根据货架布置范围计算柱底反力增加量。另外，风荷载和雪荷载是大跨度轻型钢结构的主要控制荷载，要按照项目所在地气象资料，按建筑结构荷载规范的规定，重点考虑屋面风压分布系数——大跨度屋面边角处容易出现风吸力集中，设计时应对这些部位的檩条和刚架梁翼缘进行局部加强。

1.3 荷载工况的组合原则

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

根据物流厂房的使用特点，荷载工况组合要考虑到常规作业和极端天气的双重影响。基本组合应该包括恒荷载+活荷载、恒荷载+风荷载、恒荷载+活荷载+风荷载等常见情况，其中风吸力和恒荷载反向组合不能忽略，当屋面风吸力较大时，会出现刚架柱受拉、梁端负弯矩增大的现象，如果恒荷载取值过小，就会造成构件承载能力不足。对于设有起重设备的物流装卸区来说，还需要考虑吊车荷载和水平刹车力的组合，特别是吊车纵向制动对柱间支撑产生的附加作用。短期工况如施工阶段的材料堆放荷载也要计入设计验算中，防止施工期间刚架发生塑性变形。通过对荷载取值及工况组合进行精细化处理，可以避免由于过于保守的设计而造成的用钢量浪费，保证结构在各种使用环境下具有良好的安全性能。

2.大跨度门式刚架的内力分析与构件截面优化设计

2.1 刚架内力分布规律的解析方法

大跨度门式刚架内力分析要考虑到梁柱节点的刚接特性以及二阶效应的影响，传统的排架分析方法不能准确地反映出刚架节点弯矩传递的效果，故需要用矩阵位移法或者通用有限元软件进行整体建模计算。针对单跨对称刚架，在竖向均布荷载作用下，跨中部分主要产生正弯矩，而梁端和柱顶节点处则存在负弯矩和剪力的叠加效应；在水平风荷载作用下，迎风面柱承受拉力、背风面柱承受压力，刚架梁表现出反向弯曲的内力分布特点。需要注意的是，大跨度刚架的轴向力对于梁的挠度有不可忽视的影响，即“梁拱效应”，当刚架梁出现竖向挠度的时候，会伴随着水平推力的产生，这个推力可以抵消一部分竖向弯矩，在设计的时候需要把它作为内力计算的一个修正项来考虑，以免造成构件截面的过度冗余。另外，对于设有抽柱或者局部大空间的物流厂房，要对内力集中的部位单独进行应力分析，防止由于结构刚度突变引起的局部构件破坏。

2.2 梁柱截面形式的优化选型

刚架梁柱截面的选择要兼顾受力性能和经济性，目前常用的截面形式有焊接工字形截面、热轧 H 型钢截面等。跨度大于 30m 的刚架梁采用变截面焊接工字形截面时，梁端负弯矩较大的部位增加截面高度可以有效地提高抗弯承载能力，在跨中正弯矩较小的部位减小截面高度可以减少用钢量[5]。柱截面的选型需要根据轴压比以及长细比控制的要求来确定，当柱底为铰接时，柱的长细比限值可以适当放宽，优先选用等截面 H 型钢以简化加工和安装工序；当柱底为刚接时，应控制柱底弯矩的传递效应，可采用等截面或渐变截面来加强柱底的抗弯刚度。腹板和翼缘的厚度设计应该遵循“强翼缘、弱腹板”的原则，翼缘的厚度必须满足局部稳定性的要求，腹板可以通过设置加劲肋来提高抗剪承载能力，防止腹板过厚造成材料浪费。针对物流厂房内承受吊车荷载的柱，在吊车梁连接处应设置纵向加劲肋，从而增强局部承压能力。

2.3 构件稳定性验算与构造措施

大跨度门式刚架的构件稳定性是设计中的重要控制点，梁的整体稳定验算要考虑侧向支承点之间的距离，屋面压型钢板和檩条之间牢固连接的情况下可以作为梁的侧向支承点，此时不需要对梁的整体稳定进行验算；如果檩条连接刚度不足，则需要在梁上设置额外的侧向支撑来减小梁的侧向计算长度。柱的稳定性要分平面内和平面外计算长度，平面内的计算长度由梁柱节点的刚接程度以及柱底约束条件决定，平面外的计算长度则由柱间支撑的布置间距决定。对于变截面柱来说，按照规范的规定折算其计算长度，防止由于截面变化造成的稳定系数计算偏差。另外，构件的局部稳定要靠翼缘外伸宽厚比和腹板高厚比来保证，腹板高厚比超过限值时，应设置横向加劲肋或者纵向加劲肋，防止腹板出现局部屈曲[6]。构造措施方面，刚架梁拼接的位置应该设在弯矩较小的跨中部位，柱子拼接的位置应当设在楼面以上 1.0～1.5m 的地方，方便现场焊接和安装。

3.大跨度门式刚架物流厂房钢结构的优化措施

3.1 基于受力特性的构件截面精细化优化

根据大跨度刚架梁柱节点弯矩大、跨中挠度控制严格、柱脚水平剪力明显的受力特点，摒弃通用型钢截面粗放选型的方式，采用变截面和材料定向强化的精细化优化方案。对于刚架柱来说，在柱底到 1/3 柱高的范围内，由于轴力和弯矩的组合效应明显，因此采用焊接 H 形截面并适当增加翼缘厚度；而在上部 2/3 高度范围内，随着弯矩逐渐减小而逐步降低腹板的高度，形成楔形柱截面，既符合线性分布的弯矩包络图，又避免了上部材料的浪费。屋面梁按照负弯矩（支座处）和正弯矩（跨中处）交替出现的特点，设计成双坡变截面的形式，即在支座附近将梁高放大 15%~20%，以抵抗负

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

弯矩，在跨中区域将梁高适当缩小，以减轻自重，并且在屋面集中荷载作用点（吊车梁支撑处、大型货架锚固区等）局部设置加劲肋，达到受力大的地方材料密集、受力小的地方截面舒展的目的。

3.2 节点构造与连接方式的协同优化

节点是刚架力流传力的重要枢纽，它的优化会直接影响到整个结构的可靠性以及施工效率。传统的刚架节点由于加劲肋布置冗余、焊缝形式单一而造成应力集中，在优化的时候采用“刚接节点半刚接化改良”的方法：梁柱刚性节点处，把翼缘对接焊缝和腹板高强螺栓混合连接改成翼缘全熔透焊缝加腹板双排摩擦型螺栓的组合形式，既保证了抗弯刚度，又减少了现场焊接的工作量；柱脚节点由原来的外露式刚接改为埋入式和外露式相结合的混合节点——山墙侧水平推力较大时用埋入式柱脚来提高抗侧刚度，在纵向温度伸缩缝附近使用带滑动支座的外露柱脚来释放温度应力[7]。另外针对物流厂房屋面管线密集的情况,在节点域预留管线穿孔通道，防止后期安装对结构构件造成二次开孔破坏。

3.3 支撑体系与屋面系统的轻量化协同优化

大跨度厂房的支撑体系是保证整个结构稳定性的关键，它的优化要兼顾抗侧效率和空间通透性。抛弃传统的交叉型钢支撑，采用张弦梁式柔性支撑和刚性檩条相结合的方式，在屋面横向支撑中使用高强度钢绞线，用预张拉的方法提高支撑刚度，从而减小支撑截面尺寸；纵向支撑则利用厂房内吊车梁走道板作为刚性系杆，达到一材多用的效果。屋面围护系统采用高腹板檩条、压型钢板、保温层等轻量化构造形式，将檩条间距由原来的 1.5m 改为 1.8~2.0m，在保证屋面荷载传递的前提下减少檩条用量[8]；压型钢板选用高强度镀锌板（屈服强度由原来的 235MPa 提高到 345MPa），板厚减薄 0.2～0.3mm，依靠它与刚架梁之间的剪切连接作用产生蒙皮效应来传递水平力，进而降低屋面支撑的配置要求。

3.4 全生命周期成本导向的设计优化

把优化的视角由原来的施工阶段成本拓展到 50 年使用周期总成本，主要考虑物流厂房特殊的运维需求。（1）在叉车作业、货架动载等长期重复荷载作用下，刚架梁和柱的易疲劳部位（即梁柱节点域、梁下翼缘与吊车附件连接处）采用耐候钢材质，以减缓锈蚀速度，减少后期防腐维护次数；（2）考虑到厂房未来工艺升级的可能性，在结构设计中预留 10%的屋面活荷载冗余以及 5%的吊车起重量提升空间，从而避免二次加固带来的费用；(3)用 BIM 技术进行预拼装模拟，对构件分段长度进行优化（根据运输限宽限高的要求，将超长梁段拆分成 2~3 段现场拼接），降低现场吊装作业的机械台班费用[9]。经过以上多个方面的优化之后，在保证结构安全的基础上可以使得钢材用量降低 8%～12%，施工工期缩短 15%，全生命周期维护费用减少 20%以上，充分体现出大跨度门式刚架在物流厂房应用中的技术经济优势。

4.结语

综上所述，大跨度门式刚架物流厂房的钢结构设计，需结合工艺需求精细化把控参数与荷载，通过内力分析优化构件选型与构造，从截面、节点、支撑到全生命周期成本协同优化，可有效降低用钢量、缩短工期、减少运维成本，为同类工程提供实用参考。

[参考文献]

[1]汤德英. 某钢结构高架物流仓库梁系布置方案探析[J]. 福建建筑,2026,44(2):32-40.

[2]李智,丁然,聂鑫,等. 标准化立式工业建筑楼面活荷载取值[J]. 建筑结构学报,2023,44(3):268-278.

[3]童根树. 梁柱连接外伸端板厚度快速计算[J]. 钢结构（中英文）,2024,39(8):52-54.

[4]刘磊,张晓东. 门式刚架轻型房屋钢结构节点加固优化研究[J]. 土木工程与绿色建筑,2025,1(5):21-25.

[5]赵伟哲. 某单层门式刚架厂房的优化设计分析[J]. 玻璃,2025,52(7):43-46.

[6]崔久蕙. 多跨等高工业厂房门式刚架优化设计[J]. 中国建筑金属结构,2026,25(2):130-132.

[7]韩宝金,王争强,李京健. 物流仓库结构优化设计探讨[J]. 工程建设与设计,2024(9):14-16.

[8]张艳虹. 大跨度门式刚架结构设计研究[J]. 中国建筑装饰装修,2022(8):152-154.

[9]郑敏琦. 下部钢框架-上部门式刚架混合体系结构设计研究[J]. 中国建筑金属结构,2024,23(5):127-129.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.